

## Beschreibung

## Verfahren zum Steuern eines elektromechanischen Stellantriebs

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines elektromechanischen Stellantriebs, insbesondere für ein Gaswechselventil einer Brennkraftmaschine.

Einem bekannten Stellantrieb (DE 195 26 683 A1) wird ein  
10 Stellglied zugeordnet, das als Gaswechselventil ausgebildet ist. Der Stellantrieb weist zwei Elektromagnete auf, zwischen denen jeweils gegen die Kraft eines Rückstellmittels eine Ankerplatte durch Abschalten des Spulenstroms am haltenden Elektromagneten und Einschalten des Spulenstroms am fangenden  
15 Elektromagneten bewegt werden kann. Der Spulenstrom des jeweils fangenden Elektromagneten wird auf einen vorgegebenen Fangwert geregelt und zwar während einer vorgegebenen Zeitdauer, die so bemessen ist, daß die Ankerplatte innerhalb der Zeitdauer auf eine Anlagefläche am fangenden Elektromagneten  
20 trifft. Anschließend wird der Spulenstrom des fangenden Elektromagneten auf einen Haltewert geregelt.

Immer strengere gesetzliche Grenzwerte zur Schallabstrahlung des Kraftfahrzeugs und Anforderungen nach einer leise laufenden Brennkraftmaschine setzen für eine Serientauglichkeit des  
25 Stellantriebs zwingend voraus, daß die Schallerzeugung durch den Stellantrieb gering ist.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Steuern  
30 eines elektromechanischen Stellantriebs zu schaffen, das die Schallerzeugung beim Auftreffen einer Ankerplatte auf einen Elektromagneten minimiert und gleichzeitig einen zuverlässigen Betrieb des Stellantriebs gewährleistet.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

- 5 Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß zum Bewegen der Ankerplatte von der ersten oder zweiten Anlagefläche hin zur zweiten oder ersten Anlagefläche mit der Vorgabe, daß die Auftreffgeschwindigkeit der Ankerplatte auf die zweite Anlagefläche nahe bei Null liegt, dem Feder-Masse-Schwinger genau  
10 die Energiemenge zugeführt werden muß, die ihm durch die elektrischen und mechanischen Verluste dem Feder-Masse-Schwinger entzogen wird. Der Spule des Elektromagneten kann Energie sehr präzise zugeführt werden, wenn die Ankerplatte noch außerhalb des Nahbereichs der Anlagefläche an dem Elektromagneten ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß  
15 eine erforderliche erste Menge von elektrischer Energie zugeführt wird, wenn die Ankerplatte noch außerhalb des Nahbereichs der Anlagefläche an dem Elektromagneten ist. Eine zweite vorgegebene Menge elektrischer Energie wird der Spule  
20 zugeführt nach einem Betriebszustand des Freilaufs und vor dem Anlegen der Ankerplatte an der Anlagefläche an dem Elektromagneten. Anschließend wird die Spule erneut in den Betriebszustand des Freilaufs gesteuert bis die Ankerplatte zur Anlage mit der Anlagefläche an dem Elektromagneten gelangt.  
25 Durch das Zuführen der zweiten Menge an elektrischer Energie, die vorzugsweise zugeführt wird, wenn die Ankerplatte im Nahbereich der Anlagefläche an dem Elektromagneten ist, kann die Genauigkeit des Erfassens des exakten Auftreffzeitpunktes der Ankerplatte auf die Anlagefläche an dem Elektromagneten erhöht werden. Die Summe der ersten und zweiten mit der elektrischen Energie ist vorzugsweise so bestimmt, daß sie genau  
30 der Energiemenge entspricht, die durch elektrische und mechanische Verluste der Feder-Masse-Schwinger entzogen wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Anordnung eines Stellantriebs in einer Brennkraftmaschine,

Figur 2 ein Ablaufdiagramm einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Steuern des Stellantriebs,

Figur 3 ein weiteres Ablaufdiagramm einer weiteren Ausführungsform eines Verfahrens zum Steuern des Stellantriebs und

Figur 4 Signalverläufe des Stroms durch die Spule, der zeitlichen Ableitung des Stroms und der Geschwindigkeit der Ankerplatte aufgetragen über die Zeit.

Ein Stellgerät 1 ( Figur 1) umfaßt einen Stellantrieb 11 und ein Stellglied 12, daß diese Ausführungsform als Gaswechselventil gebildet ist, und einen Schaft 121 und einen Teller 122 hat. Der Stellantrieb 11 hat ein Gehäuse 111, in dem ein erster und ein zweiter Elektromagnet angeordnet sind. Der erste Elektromagnet hat einen ersten Kern 112, in den in einer ringförmigen Nut eine erste Spule 113 eingebettet ist. Der zweite Elektromagnet hat einen zweiten Kern 114, in den in einer weiteren ringförmigen Nut eine zweite Spule 115 eingebettet ist. Ein Anker ist vorgesehen, dessen Ankerplatte 116 in dem Gehäuse 111 beweglich zwischen einer ersten Anlagefläche 115 a des ersten Elektromagneten und einer zweiten Anlagefläche 115 b des zweiten Elektromagneten angeordnet ist. Der Anker umfaßt des weiteren einen Ankerschaft 117, der durch Ausnehmung des ersten und zweiten Kerns 112, 114 geführt wird und der mit dem Schaft 121 des Stellglieds 12 mechanisch koppelbar ist. Ein erstes Rückstellmittel 118 a und ein zweites Rückstellmittel 118 b spannen die Ankerplatte 116 in eine vorgesehene Ruheposition N vor.

Das Stellgerät 1 ist mit einem Zylinderkopf 21 starr verbunden. Dem Zylinderkopf 21 ist ein Ansaugkanal und ein Zylinder mit einem Kolben zugeordnet. Der Kolben 24 ist über eine Pleuelstange 25 mit einer Kurbelwelle 26 gekoppelt. Eine Steuereinrichtung 3 ist vorgesehen, die Signale von Sensoren erfaßt und Stellsignale erzeugt und deren Abhängigkeit die erste und zweite Spule 113, 115 des Stellgeräts 1 in einem Leistungssteller 5a, 5b angesteuert werden.

10

Die Sensoren, die der Steuereinrichtung 3 zugeordnet sind, sind ausgebildet als ein erster Strommesser 4a, der einen Istwert  $I_{AV1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 erfaßt, oder als ein zweiter Strommesser 4b, der einen Istwert  $I_{AV2}$  des Stroms durch die zweite Spule 115 erfaßt. Neben den erwähnten Sensoren können auch weitere Sensoren vorhanden sein.

15

Leistungssteller 5a hat einen ersten Transistor T1, dessen Gate-Anschluß mit einem Ausgang der Steuereinrichtung 3 verbunden ist. Der Leistungssteller 5a hat einen zweiten Transistor T2, dessen Gate-Anschluß elektrisch leitend mit einem weiteren Ausgang der Steuereinrichtung 3 elektrisch leitendverbunden ist. Ferner ist ein Widerstand R zwischen dem Source-Ausgang des zweiten Transistors T2 und dem Bezugspotential (Versorgungsspannung  $U_V$ ) angeordnet. Der Widerstand R dient als Meßwiderstand für den Strommesser 4a.

20

25

Der Aufbau des Leistungsstellers 5b ist der gleiche wie der des Leistungsstellers 5a. Die Bezugszeichen der elektrischen bauelemente des Leistungsstellers 5b sind zur Unterscheidung jeweils mit einem "H-Brücke" bezeichnet.

30

Im folgenden wird exemplarisch die Funktionsweise des Leistungstellers 5a dargestellt. Liegt an dem Gate-Anschluß des ersten Transistors T1 ein hoher Spannungspegel an, so wird der erste Transistor T1 vom Drain bis zur Source leitend

- 5 (T1=On). Liegt zusätzlich am zweiten Transistor T2 am Gate-Anschluß der hohe Spannungspegel an, so wird auch der zweite Transistor T2 leitend (T2=On). An der ersten Spule 113 fällt an die Versorgungsspannung  $U_v$  verringert um den Spannungsabfall an dem Widerstand R und den Transistoren T1 und T2 ab.
- 10 Der Strom durch die Spule 113 steigt dann an. Der Ersten Spule wird elektrische Energie zugeführt.

- Wird anschließend an den Gate-Anschluß des ersten Transistors T1 ein Spannungspegel vorgegeben, so sperrt der Transistor T1
- 15 (T1=Off) und die Diode D2 wird im Freilauf leitend. Die erste Spule 113 wird somit im Betriebszustand des Freilaufs betrieben. Der Spannungsabfall an der ersten Spule 113 ist dann gegeben durch die Durchlaßspannung der zweiten Diode D2, des zweiten Transistors T2 und dem Spannungsabfall an dem Wider-
- 20 stand R (insgesamt beispielsweise zwei Volt). Der Strom durch die erste Spule 113 nimmt dann ab.

- Werden sowohl die Spannungspegel an dem Gate-Anschluß des ersten als auch des zweiten Transistors T1, T2 von hoch auf
- 25 niedrig geschaltet, so werden sowohl die erste Diode D1 als auch die zweite Diode D2 leitend und der Strom durch die erste Spule 113 wird sehr schnell verringert. Es findet also eine Abkommutierung statt.

- 30 Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm einer ersten Ausführungsform des Verfahrens zum Steuern des Stellantriebs 11, das in der Steuereinrichtung 3 in der Form eines Programms abgearbeitet wird. Dabei ist es unerheblich, ob das Programm in Form fest-

verdrahteter Logik realisiert ist oder in Form von Software realisiert ist und von einem Mikro-Controller abgearbeitet wird.

- 5 In einem Schritt S1 wird das Programm gestartet. Dabei werden Daten aus einem nicht dargestellten Datenspeicher eingelesen, die Informationen darüber enthalten, ob die Ankerplatte an der ersten Anlagefläche 115a anliegt, d. h. in der Schließposition S ist, oder ob die Ankerplatte 116 an der zweiten Anlagefläche 115b anliegt, d. h., in der Offenposition O ist.  
10 Im folgenden wird das Programm für den Fall beschrieben, daß die Ankerplatte 116 ursprünglich in der Offenposition O ist. In einem Schritt S2a werden verschiedene Schwellenwerte SW1, SW2, SW3, SW4 eingelesen, die entweder fest vorgegeben sind  
15 oder in vorherigen Durchläufen des Programms korrigiert wurden.

- Ein erster Schwellenwert SW1 und ein dritter Schwellenwert SW3 sind derart vorgegeben, daß die Summe des ersten und  
20 dritten Schwellwertes SW1 der Energiemenge entspricht, die dem Feder-Masse-Schwinger zugeführt werden muß, um die Energieverluste zu kompensieren, die beim Bewegen der Ankerplatte 116 von der Offenposition O in die Schließposition S auftreten.

- 25 In einem Schritt S3 wird einem Sollwert I\_SP2 ein vorgegebener Nullwert I\_N zugeordnet. Der Nullwert hat vorzugsweise den Wert null Ampere. Demnach wird im Schritt S3 der Strom durch die zweite Spule 115 vorzugsweise abgeschaltet. Ein  
30 zweiter Regler 32 in der Steuereinrichtung 3 regelt den Strom durch die zweite Spule 115 abhängig von dem Sollwert I\_SP2 und dem Istwert I\_AV2 des Stroms durch die zweite Spule 115. Der zweite Regler 32 erzeugt Stellsignale für die Gate-Anschlüsse des ersten Transistors T1' und des zweiten Transistors T2',  
35 die die hohen oder niedrigen Spannungspegel sind. Der zweite Regler 32 ist als Zweipunkt-Regler ausgebil-

det, kann jedoch als ein beliebiger anderer dem Fachmann bekannter Regler ausgebildet sein.

In einem Schritt S4 wird ein vorgegebener Fangwert  $I_F$  einem Sollwert  $I_{SP1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 zugeordnet. In der Steuereinrichtung 3 ist ein erster Regler 31 vorgesehen, der den Strom durch die erste Spule 113 abhängig von dem Sollwert  $I_{SP1}$  und dem Istwert  $I_{AV1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 regelt. Der erste Regler 31 erzeugt Stellsignale für die Gate-seitigen Anschlüsse des ersten Transistors T1 und des zweiten Transistors T2 mit den Spannungspegeln "niedrig" oder "hoch". Der erste Regler 31 ist ebenfalls einfacherweise als ein Zweipunkt-Regler ausgebildet. Er kann jedoch auch als ein weiterer dem Fachmann bekannter Regler ausgebildet sein.

In einem Schritt S6 wird die der ersten Spule 113 seit dem Start in dem Schritt S1 zugeführte elektrische Energie ermittelt. Der elektrischen Energie W wird das Integral über das Produkt des Istwertes  $I_{AV1}$  und des Spannungsabfalls  $U_{A1}$  an der ersten Spule 113 zugeordnet. Der Spannungsabfall  $U_{A1}$  an der ersten Spule wird beispielsweise ermittelt aus der Versorgungsspannung  $U_V$  und den Spannungsabfällen an dem Widerstand R, dem zweiten Transistor T2 und dem ersten Transistor T1.

In einem Schritt 7a wird geprüft, ob die der Spule 113 zugeführte elektrische Energie W größer ist als der erste Schwellwert SW1. Ist dies nicht der Fall, so wird die Bearbeitung nach einer vorgegebenen Wartezeit in dem Schritt S6 fortgesetzt. Ist dies jedoch der Fall, d. h. eine dem ersten Schwellwert SW1 entsprechende vorgegebene erste Menge elektrischer Energie ist der Spule 113 zugeführt worden, so wird in den Schritt S8 verzweigt. In dem Schritt S8 wird die erste Spule 113 in den Betriebszustand des Freilaufs gesteuert (T1 = OFF, T2 = ON).

In einem Schritt S10 wird geprüft ob der aktuelle Istwert  $I_{AV1}$  des Stroms durch die erste Spule kleiner ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2. Der Schwellenwert ist beispielsweise so vorgegeben, daß er in etwa der Hälfte des  
5 Istwertes  $I_{AV1}$  des Stroms durch die erste Spule beim Übergang von dem Schritt S7a hin zu dem Schritt S8 entspricht. Ist dies nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bearbeitung erneut in dem Schritt S10 fortgesetzt.

- 10 Ist die Bedingung des Schritts S10 erfüllt, so erfolgt wieder eine Regelung des Stroms durch die erste Spule auf den Fangwert  $I_F$  und in einem Schritt S11 wird die der ersten Spule 113 seit dem Übergang von dem Schritt S10 zu dem Schritt S11 zugeführten elektrischen Energie W ermittelt. Die Berechnung  
15 der elektrischen Energie W erfolgt dabei analog zu der Vorgehensweise des Schrittes S6.

- In einem Schritt S12 wird geprüft, ob die der Spule 113 seit dem Übergang des Programms von dem Schritt S10 hin zu dem  
20 Schritt S11 zugeführte elektrische Energie W größer ist als der dritte Schwellenwert SW3. Ist die Bedingung nicht erfüllt, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bearbeitung in dem Schritt S11 fortgesetzt.

- 25 Ist die Bedingung jedoch erfüllt, so wird in einem Schritt S13 die erste Spule 113 in den Betriebszustand des Freilaufs gesteuert. Demnach wird der Spule dann keine elektrische Energie mehr zugeführt. In einem Schritt S14 wird anschließend geprüft, ob die zeitliche Ableitung des Istwertes  $I_{AV1}$  des  
30 Stroms durch die erste Spule 113 einen vierten Schwellenwert SW4 erreicht hat. Dazu wird vorzugsweise geprüft, ob die zeitliche Ableitung größer ist als der vierte Schwellenwert SW4. Der vierte Schwellenwert SW4 ist vorab in Versuchen ermittelt und entspricht dem Wert, dem die zeitliche Ableitung  
35 des Istwertes  $I_{AV1}$  des Stroms durch die erste Spule in dem Zeitpunkt des Auftreffens der Ankerplatte 116 auf die erste Anlagefläche 115a hat.



Ist die Bedingung des Schrittes S14 erfüllt, so wird in einem Schritt S15 dem Sollwert  $I_{SP1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 ein erhöhter Haltewert  $I_{HE}$  zugeordnet. Der erhöhte Haltewert  $I_{HE}$  ist dabei so gewählt, daß sich die Ankerplatte 116 nach dem Auftreffen auf die erste Anlagefläche 115a nicht durch Prellen von der Anlagefläche 115a löst und abfällt in die Ruhelage N.

10 Nach einer vorgegebenen Zeitdauer wird dann in dem Schritt S16 dem Sollwert  $I_{SP1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 der Haltewert  $I_H$  zugeordnet. In einem Schritt S17 wird das Programm beendet. Durch die Abarbeitung des Schrittes 1 bis 17 wird gewährleistet, daß der Spule genau die elektrische Energie zugeführt wird, die die Energieverluste kompensieren, die beim Bewegen der Ankerplatte 116 von der Offenposition O in die Schließposition S auftreten. Dadurch ist gewährleistet, daß die Auftreffgeschwindigkeit der Ankerplatte auf die Anlagefläche 115a äußerst gering ist, wodurch lediglich geringe Schallemissionen erzeugt werden. Die Berechnung der zugeführten elektrischen Energie W in dem Schritt S6 erfolgt dabei mit hoher Präzision, da sich die Ankerplatte in diesem Bereich noch nicht im Nahbereich des ersten Elektromagneten befindet. Vorzugsweise ist die erste Energiemenge, die erreicht wird, wenn die zugeführte elektrische Energie W größer ist als der erste Schwellenwert, deutlich größer als die zweite Energiemenge, die erreicht wird, wenn die zugeführte elektrische Energie den dritten Schwellenwert erreicht. Vorzugsweise ist so beispielsweise der erste Schwellenwert SW1 neun mal so hoch wie der dritte Schwellenwert SW3.

Während der Bearbeitung der Schritte S11 und S12 befindet sich die erste Ankerplatte 116 bereit im Nahbereich der Spule 113, so daß die Ermittlung der zugeführten elektrischen Energie weniger präzise erfolgen kann als im Schritt S6. Der wesentliche Vorteil bei dieser Vorgehensweise ist jedoch, daß durch das in der Bewegungsphase späte Zuführen von elektri-

scher Energie und anschließende Umschalten in den Betriebszustand des Freilaufs in dem Schritt S13 sowohl der Istwert des Stroms  $I_{AV1}$  als auch dessen zeitliche Ableitung deutlich erhöht werden. Beispielsweise um das zwei bis dreifache im Vergleich zu einem Zuführen der gesamten benötigten Energie während der Abarbeitung der Schritte S6 und S7a. Alternativ kann in dem Schritt S14 auch geprüft werden, ob der Quotient der Ableitung des Istwertes  $I_{AV1}$  nach der Zeit und des Istwertes  $I_{AV1}$  einen vorgegebenen Schwellwert erreicht.

10

Wird in dem Schritt S1 erkannt, daß die Ankerplatte 116 in der Schließposition S ist, so wird ein nicht dargestellter Zweig des Programms abgearbeitet, der den Schritten S2a bis S17 entspricht mit dem Unterschied, daß in dem Schritt S3 den Sollwert  $I_{SP1}$  des Stroms durch die Spule der Nullwert  $I_N$ , in dem Schritt S4 den Sollwert  $I_{SP2}$  der Fangwert  $I_F$  zugeordnet wird und daß in dem Schritt S6 und S11 das Integral des Produktes des Sollwertes  $I_{AV2}$  des Stroms durch die zweite Spule 115 und des Spannungsabfalls an der zweiten Spule 115 ermittelt wird. Ferner werden die Transistoren T1' und T2' statt der Transistoren T1 und T2 angesteuert.

Figur 3 zeigt ein weiteres Ablaufdiagramm einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens zum Steuern des Stellantriebs 11, das in Form eines Programms abgearbeitet wird. In dem Schritt S20 wird das Programm gestartet und Daten werden aus dem Datenspeicher eingelesen, die Informationen enthalten über die aktuelle Position der Ankerplatte 116. Die im folgenden beschriebenen Schritte werden durchlaufen, wenn die Ankerplatte 116 in der Schließposition S ist und die Ankerplatte hin zu der Offenposition bewegt werden soll.

In einem Schritt S2 werden erste und zweite Zeitdauer  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  aus dem Datenspeicher eingelesen. Die erste und die zweite Zeitdauer  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  sind fest vorgegeben und in

Versuchen vorab ermittelt und/oder in vorangegangenen Programmdurchläufen korrigiert oder ermittelt.

5 In einem Schritt S22 wird dem Sollwert  $I_{SP1}$  des Stroms durch die erste Spule 113 der Nullwert  $I_N$  zugeordnet. Der erste Regler 31 der Steuereinrichtung 3 regelt dann den Strom durch die erste Spule 113 auf den Nullwert  $I_N$ . In einem Schritt S23 wird im Sollwert  $I_{SP2}$  des Stroms durch die zweite Spule der Fangwert  $I_F$  zugeordnet. Der zweite Regler 32 der Steuer-  
10 einheit regelt dann den Strom durch die zweite Spule 115 auf den Fangwert  $I_F$ .

In einem Schritt S24 wird die aktuelle Zeit  $t$  dem Zeitpunkt  $t_1$  zugeordnet. In einem Schritt S25 wird geprüft, ob die ak-  
15 tuelle Zeit  $t$  größer ist als die Summe des Zeitpunktes  $t_1$  und der ersten Zeitdauer  $\Delta t_1$ . Ist dies nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bearbeitung in dem Schritt S25 fortgesetzt.

20 Ist die Bedingung des Schrittes S25 jedoch erfüllt, d. h. die zweite Spule 115 wurde für die erste Zeitdauer  $\Delta t_1$  mit dem Fangwert  $I_F$  des Stroms bestromt, was einer ersten Menge elektrischer Energie entspricht, so wird die zweite Spule 115 in dem Schritt S8 in dem Betriebszustand des Freilaufs ge-  
25 steuert. In dem Betriebszustand des Freilaufs wird der Spule 115 keine elektrische Energie mehr zugeführt und die in der Spule gespeicherte Energie dem Feder-Masse-Schwinger zugeführt.

30 In einem Schritt S27 wird geprüft, ob der aktuelle Istwert  $I_{AV2}$  des Stroms durch die zweite Spule 115 kleiner ist als der zweite Schwellenwert  $SW_2$ . Ist dies nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bearbeitung erneut in dem Schritt S27 fortgesetzt. Ist dies jedoch der Fall, so  
35 wird in einem Schritt S28 die aktuelle Zeit  $t$  dem Zeitpunkt  $t_2$  zugeordnet. Ferner erfolgt das Umschalten von dem Betriebszustand des Freilaufs der zweiten Spule 115 in den nor-

malen Regelbetrieb mit dem Sollwert  $I_{SP2}$  belegt mit dem Fangwert  $I_F$ .

5 In einem Schritt S30 wird geprüft, ob die aktuelle Zeit  $t$  größer ist als die Summe des Zeitpunktes  $t_2$  und der zweiten Zeitdauer  $\Delta t_2$ . Ist dies nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Überarbeitung in dem Schritt S30 erneut fortgesetzt.

10 Ist die Bedingung des Schrittes S30 jedoch erfüllt, wobei die zweite Zeitdauer  $\Delta t_2$  so vorgegeben ist, daß nach Ablauf der zweiten Zeitdauer  $\Delta t_2$  der zweiten Spule 115 genau die zweite Energiemenge zugeführt worden ist, so wird in einen Schritt S31 verzweigt, in dem die zweite Spule 115 in dem Betriebszu-  
15 stand des Freilaufs gesteuert wird.

In einem Schritt S32 wird geprüft, ob die zeitliche Ableitung des Sollwertes  $I_{AV2}$  des Stroms durch die zweite Spule größer ist als der vorgegebene vierte Schwellenwert  $SW_4$ . Ist dies  
20 nicht erfüllt, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bearbeitung erneut in dem Schritt S32 aufgenommen.

Ist die Bedingung des Schrittes S32 hingegen erfüllt, so wird in einem Schritt S33 die vorgegebene erste Zeitdauer  $\Delta t_1$  abhängig von dem aktuellen Istwert  $I_{AV2}$  des Stromes durch die  
25 zweite Spule 115 korrigiert. Der Istwert  $I_{AV2}$  weicht in dem Schritt S33 von einem durch Versuche vorgegebenen Istwert des Stromes durch die Spule ab, wenn die Geschwindigkeit des Ankers nicht der vorgegebenen niedrigen Geschwindigkeit entspricht. Dies ist der Fall, wenn der Spule entweder zu wenig  
30 Energie oder zu viel Energie zugeführt wurde. Durch eine Korrektur der ersten Zeitdauer  $\Delta t_1$  kann so gewährleistet werden, daß die Auftreffgeschwindigkeit der Ankerplatte in einem folgenden Programmdurchlauf einer gewünschten Auftreffgeschwindigkeit angenähert wird. Daher ist es besonders vor-  
35 teilhaft, wenn die erste Zeitdauer  $\Delta t_1$  korrigiert wird, da das Zuführen von elektrischer Energie außerhalb des Nahbe-

reichs an den Schließ- und Offenpositionen wesentlich präziser erfolgen kann.

In einen Schritt S34 mit dem Sollwert  $I_{SP2}$  des Stroms durch die zweite Spule 115 der erhöhte Haltewert  $I_H$  für eine vorgegebene Zeitdauer zugeordnet. In einem Schritt S35 wird dem Sollwert des Stroms durch die zweite Spule dann nach der vorgegebenen Zeitdauer des Schrittes S34 der Haltewert  $I_H$  zugeordnet. In einem Schritt S36 wird das Programm beendet. Alternativ oder zusätzlich zu dem Schritt S33 kann ein Schritt S33a vorgesehen sein, in dem der Fangwert  $I_F$  abhängig von dem Istwert  $I_{AV2}$  korrigiert wird. Der Fangwert  $I_F$  kann alternativ auch verschiedene Werte annehmen für das Zuführen der ersten Menge der elektrischen Energie während der Schritte S23 bis S26 und dem Zuführen der zweiten Menge der elektrischen Energie während der Schritte S28 bis S30. Besonders vorteilhaft ist auch, wenn die erste Menge elektrischer Energie der ersten oder zweiten Spule zugeführt wird durch Bestromen der Spule mit dem Fangwert  $I_F$  des Stroms bis ein vorgegebener magnetischer Fluß in der Spule erreicht ist. Dies hat den Vorteil, daß die Zuführung der ersten Menge der elektrischen Energie erfolgt bis eine vorgegebene Position der Ankerplatte 116 erreicht ist, da die Position der Ankerplatte in einer fest vorgegebenen Beziehung zu dem magnetischen Fluß durch die Spule bei vorgegebenen Strom durch die Spule ist. Der Fluß kann dabei einfach über Integration des Spannungsabfalls an der Spule über die Zeit ermittelt werden. In Figur 4 sind beispielhaft die Signalverläufe des Stroms  $I$ , der zeitlichen Ableitung des Stroms und der Geschwindigkeit der Ankerplatte 116 aufgetragen über die Zeit  $t$  und zwar für die Ausführungsform gemäß Figur 3. Das Auftreffen der Ankerplatte 116 auf die zweite Anlagefläche zu den Zeitpunkt  $t_{10}$  wird anhand der Bedingung des Schrittes S32 erkannt. Dabei gilt die Bedingung des Schrittes 32 als erfüllt, wenn die Ableitung des Istwertes  $I_{AV2}$ , ausgehend von kleineren Werten den vierten Schwellenwert überschreitet. Aus dem Stromverlauf ist klar ersichtlich, daß durch das Zuführen von elektrischer

Energie während der zweiten Zeitdauer  $\Delta t_2$  und das anschließende Umschalten in den Betriebszustand des Freilaufs die Ableitung des Istwertes  $I_{RV2}$  des Stroms durch die zweite Spule betragsmäßig einen wesentlich höheren Wert einnimmt als während des Freilaufs vor dem Zeitpunkt  $t_2$ . Dies hat den Vorteil, daß sich Meßfehler durch Störeinflüsse auf das Meßsignal nur unwesentlich auswirken derartige Störeinflüsse werden beispielsweise hervorgerufen durch ein Rauschen des Meßsignals und/oder elektromagnetische Felder.

10

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, insbesondere auf eine Kombination der Ausführungsbeispiele gemäß der Figuren 2 und 3 umfaßt.

15

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Stellantriebs (11) mit

- mindestens einem Elektromagneten, der eine Spule (113, 115) hat,

5 - einem Anker, dessen Ankerplatte (116) zwischen einer Anlagefläche (112a, 114a) an dem Elektromagneten und einer weiteren Anlagefläche beweglich ist

- mindestens einem Rückstellmittel (115a, 115b), das mit dem Anker mechanisch gekoppelt ist,

10 - wobei folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge ausgeführt werden, wenn die Ankerplatte (116) von der Anlage mit der weiteren Anlagefläche zur Anlage mit der Anlagefläche an dem Elektromagneten gebracht werden soll:

15 - eine vorgegebene erste Menge elektrischer Energie wird der Spule (115, 113) zugeführt,

- die Spule (115, 113) wird in einen Betriebszustand des Freilaufs gesteuert, bis eine erste vorgegebene Bedingung erfüllt ist, die charakteristisch dafür ist, dass die Ankerplatte im Nahbereich der Anlagefläche ist,

20 - eine vorgegebene zweite Menge elektrischer Energie wird der Spule (115, 113) zugeführt vor dem Anliegen der Ankerplatte an der Anlagefläche des Elektromagneten,

25 - die Spule (115, 113) wird in einen Betriebszustand des Freilaufs gesteuert, bis eine zweite Bedingung erfüllt ist, deren Erfüllung ein Anzeichen für das Anliegen der Ankerplatte (116) an der Anlagefläche (114a, 112a) des Elektromagneten ist, und

30 - der Spule wird elektrische Leistung zugeführt, die so vorgegeben ist, daß die Ankerplatte in Anlage mit der Anlagefläche bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene erste Menge elektrischer Energie der Spule (115, 113) zugeführt wird durch Bestromen der Spule mit einem vorgegebenen ersten Fangwert für eine vorgegebene  
35 Zeitdauer.

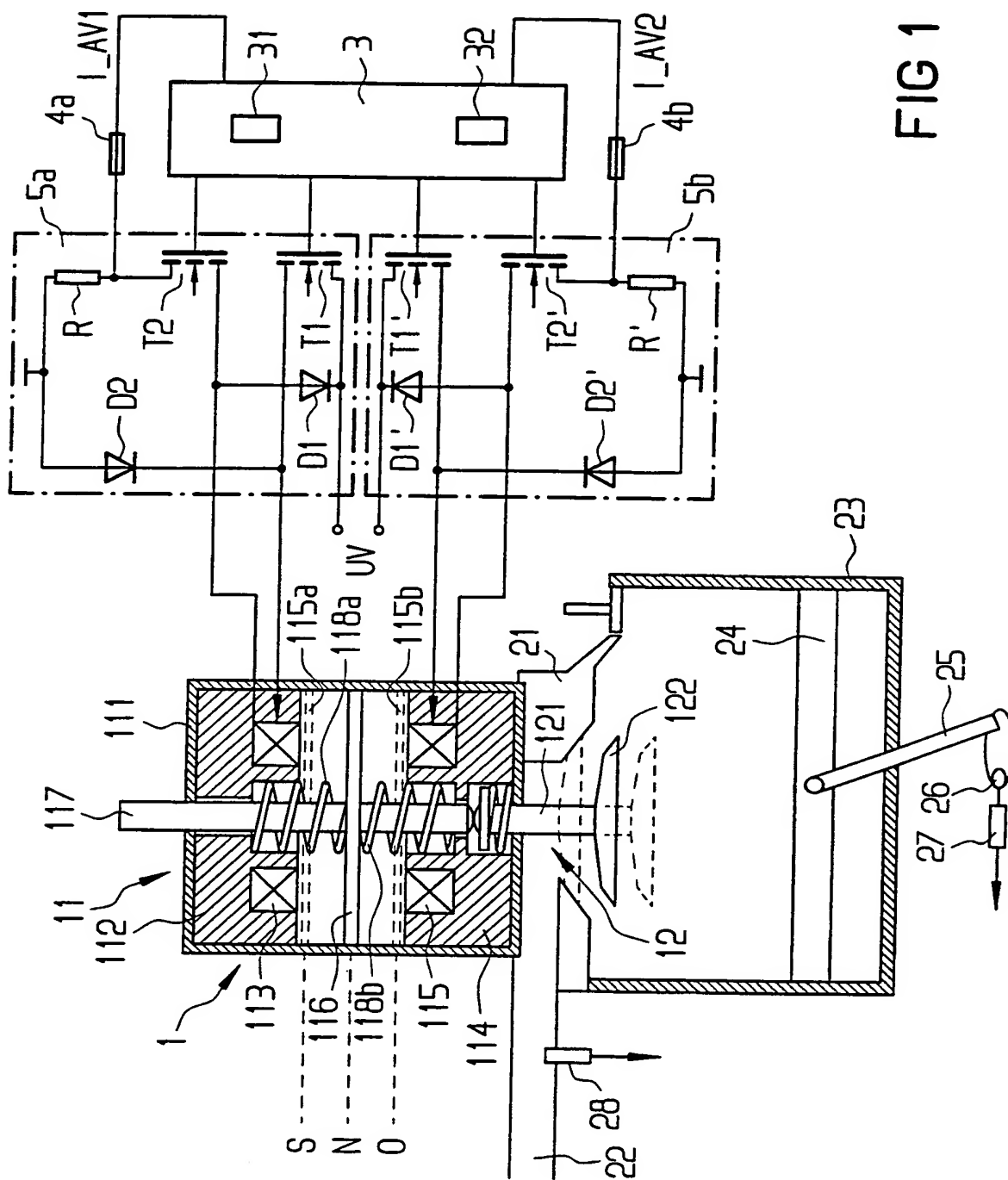
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste vorgegebene Bedingung erfüllt ist, wenn der Strom durch die Spule einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet.  
5
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene zweite Menge elektrischer Energie der Spule (115,113) zugeführt wird durch Bestromen der Spule mit einem weiteren vorgegebenen Fangwert für eine vorgegebene zweite Zeitdauer.  
10
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Bedingung erfüllt ist, wenn die zeitliche Ableitung des Stroms durch die Spule einen vorgegebenen Schwellenwert erreicht.  
15
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Menge der zuzuführenden elektrischen Energie korrigiert wird abhängig von einer die Geschwindigkeit der Ankerplatte (116) beim Auftreffen auf die Anlagefläche (112a,114a) charakterisierenden Größe.  
20
7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene erste Zeitdauer korrigiert wird abhängig von einer die Geschwindigkeit der Ankerplatte (116) beim Auftreffen auf die Anlagefläche (112a,114a) charakterisierenden Größe.  
25
8. Verfahren nach Anspruch 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der vorgegebene erste oder weitere Fangwert korrigiert werden abhängig von einer die Geschwindigkeit der Ankerplatte (116) beim Auftreffen auf die Anlagefläche (112a,114a) charakterisierenden Größe.  
30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die die Geschwindigkeit der Ankerplatte (116) beim Auftreffen auf die Anlagefläche (112a,114a)  
35



17

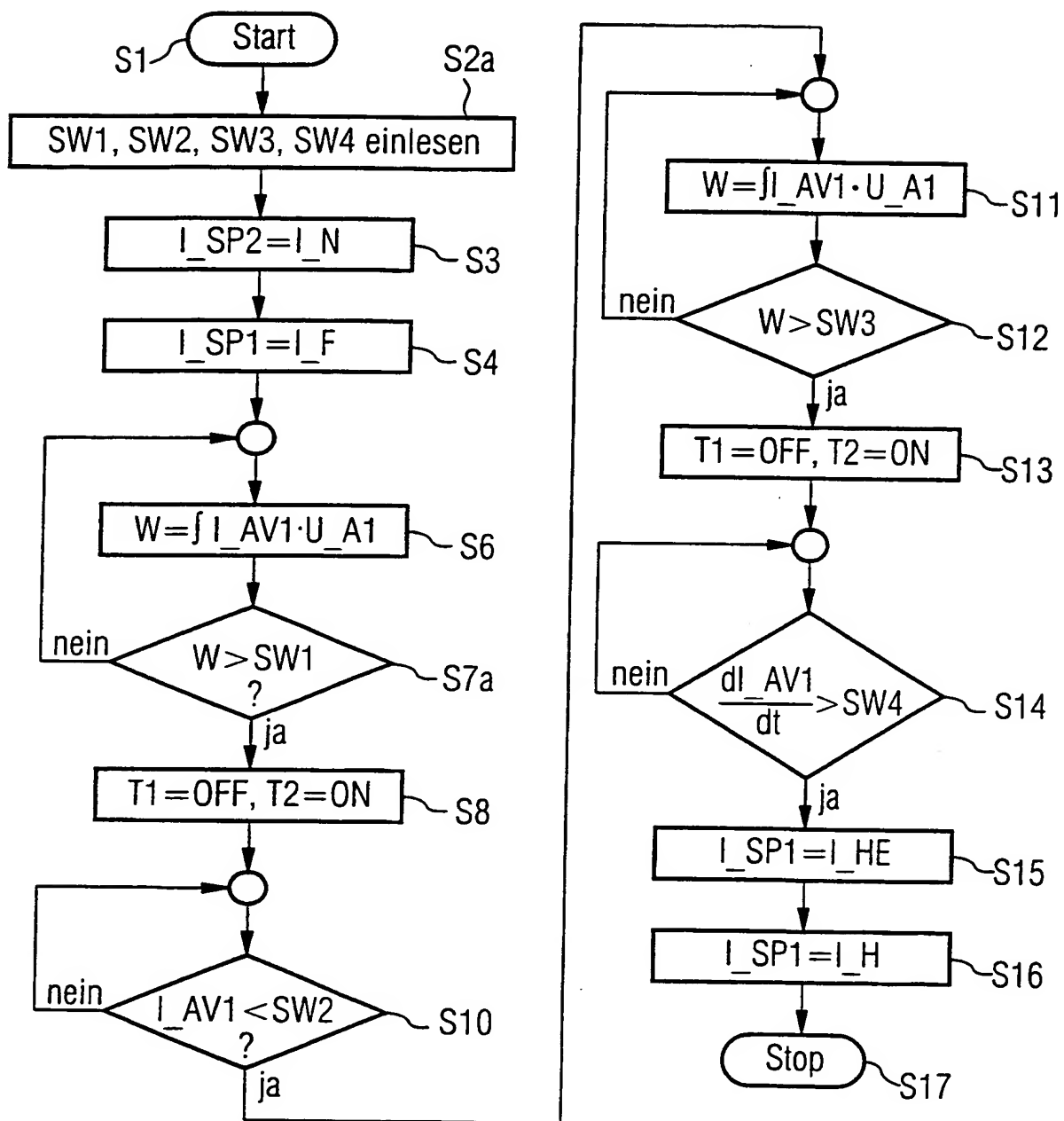
charakterisierende Größe der Wert des Stroms ist zu dem Zeitpunkt, in dem die zweite Bedingung erfüllt wird.

**This Page Blank (uspto)**



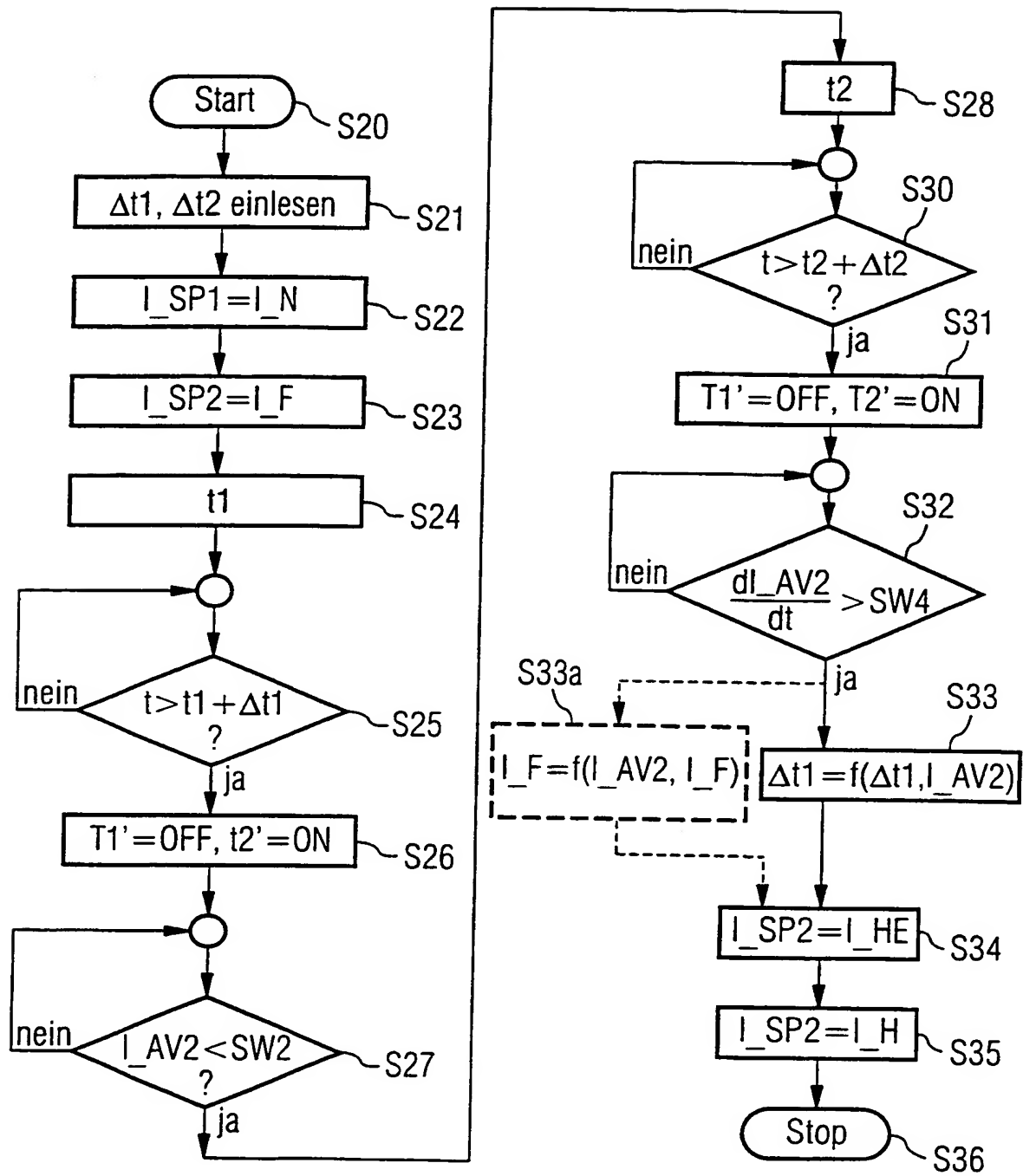
**This Page Blank (uspto)**

FIG 2



**This Page Blank (uspto)**

FIG 3



**This Page Blank (uspto)**



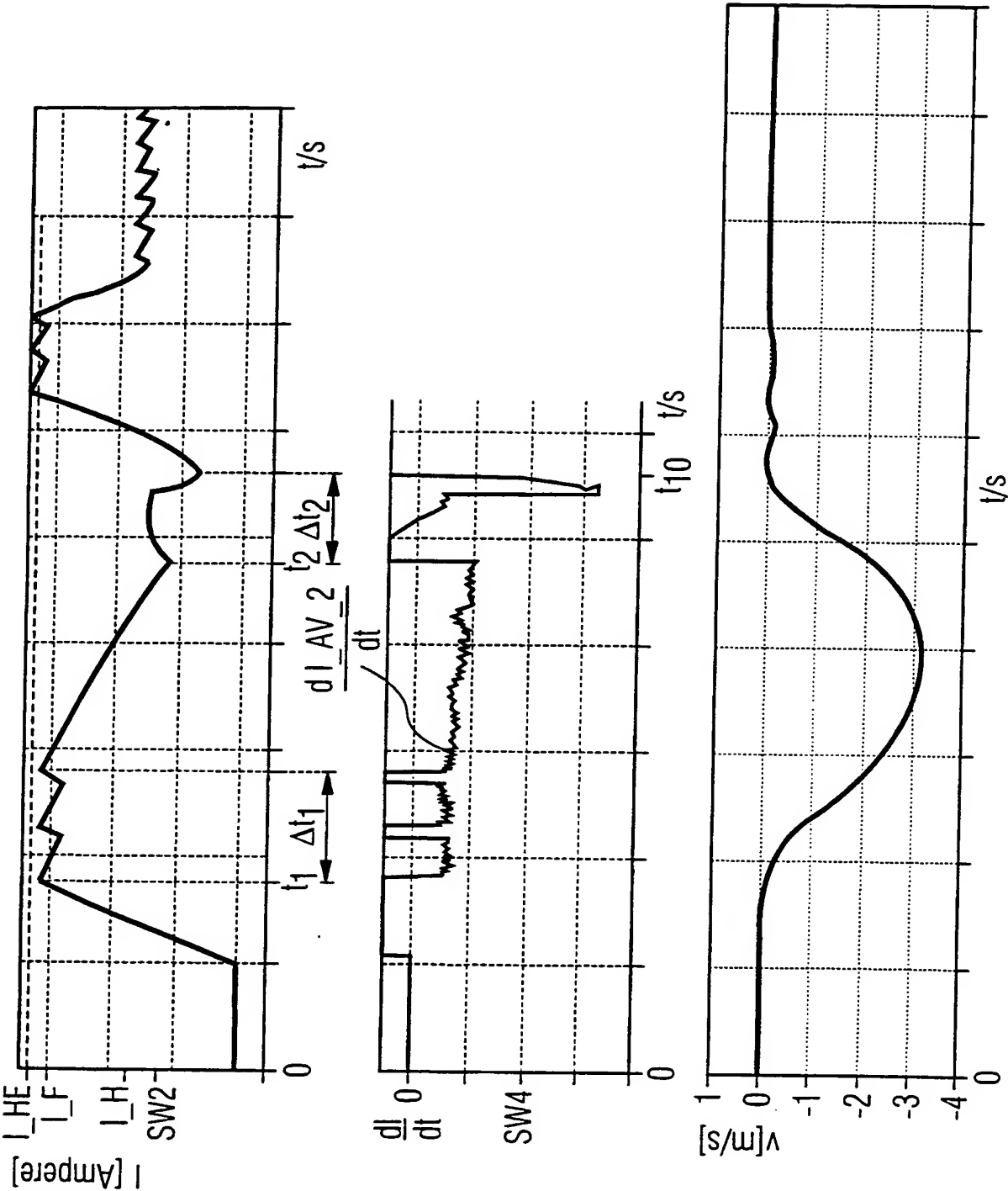


FIG 4

**This Page Blank (uspto)**